

Pengembangan Excavator Mini Amfibi Penggeruk Sampah Kapasitas Bucket 0,4 M³ Di Sungai Kecil

Wahyu Nirbito, Dhimas Kirana Sainan

Program Studi Teknik Perkapalan, Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik,
Universitas Indonesia, Kampus UI Depok, Jawa Barat 16424
wahyu.nirbito@ui.ac.id

Abstrak

Salah satu permasalahan yang dihadapi Provinsi DKI Jakarta adalah penanganan sampah yang belum maksimal, sehingga terjadi penumpukan sampah, termasuk di antaranya wilayah jalur air dan sungai. Menurut data BPS tahun 2011, dikalkulasikan masih terdapat $\pm 2.041 \text{ m}^3$ sampah yang tidak mampu dikelola, sehingga terjadi penumpukan di beberapa titik di wilayah Jakarta. Secara khusus, sebanyak $\pm 1.800 \text{ m}^3/\text{hari}$ terjadi penumpukan di wilayah jalur air dan sungai. Peralatan yang ada saat ini yaitu berupa *long arm hydraulic excavator* hanya mampu menangani sebanyak $\pm 1.395 \text{ m}^3/\text{hari}$. Artinya masih terjadi penumpukan sampah di wilayah air sebesar $\pm 405 \text{ m}^3/\text{hari}$. Sampah yang tidak dapat ditangani tersebut disebabkan karena titik penumpukannya berada pada pemukiman padat, seperti pada Kali Sunter, Kali Pesanggrahan, Kali Angke, Kali Ciliwung, Kali Cipinang dan Kali Krakut, sehingga menyulitkan akses bagi peralatan berat untuk melakukan penanganannya. Dari kondisi tersebut maka penelitian berbentuk perancangan peralatan penanganan yang tepat untuk penanganan penumpukan sisa sampah di wilayah jalur air dan sungai seperti tersebut dilakukan. Untuk itu, dikembangkan suatu rancangan peralatan tambahan yaitu berupa *excavator* mini amfibi. *Excavator* amfibi memiliki keunggulan jika dibandingkan dengan *long arm excavator* yang telah digunakan saat ini, karena memiliki daya jelajah dan mobilitas yang tinggi untuk melakukan penyusuran sungai-sungai kecil dan menangani tumpukan sampah yang selama ini menjadi permasalahan di provinsi DKI Jakarta. Rancangan disesuaikan dengan karakteristik sungai dan jalur air di wilayah Provinsi DKI Jakarta, dengan aspek-aspek desain berupa pemilihan *excavator*, lambung *pontoon*, *mooring*, hambatan, propulsi. Perencanaan awal dilakukan berupa gambaran sistem kerja secara umum untuk menentukan proses perancangan bagi komponen-komponen yang terdapat di dalam unit ini. Kapasitas *excavator* ditentukan berdasarkan waktu siklus, volume sampah, dan jam kerja maksimal. Kurva karakteristik lambung yang dirancang digambarkan berdasarkan data-data ukuran utama rancangan *pontoon* yang berbentuk katamaran. Perancangan dimensi dan pemilihan material dilakukan berdasarkan analisa pembebahan berupa *buckling*, *axial stress*, *shear stress*, *bending stress*, *impact*, dan pembebahan akibat tekanan hidrostatis. Adapun *pontoon* dirancang dibagi menjadi 5 bagian dengan jarak antar bagian sebesar 1 m. Penyambungan bagian dengan las mengikuti spesifikasi *fillet welding* yang ditentukan berdasarkan analisa terhadap *bending stress* dan *shear stress* las. Analisa stabilitas dilakukan dengan pemodelan *overestimate* menggunakan persegi panjang homogen. Secara keseluruhan *excavator* dibagi menjadi 5 buah persegi panjang, kemudian dilakukan proyeksi titik berat terhadap tumpuan (dalam hal ini berupa sistem tambat/*mooring system*). Selain itu, dilakukan pula analisa kinematik pada posisi ekstrim yang berpengaruh pada stabilitas. Adapun analisa kinematik dilakukan dengan mengabaikan penggunaan sistem tambat (*mooring system*). *Safety factor* yang digunakan pada keseluruhan proses desain ditentukan dengan menggunakan *Pugsley Equation*. Perhitungan lainnya adalah perhitungan untuk dasar pemilihan *wire rope*, *anchor*, *winch* dan mesin utama. Hasil dari perancangan ini adalah spesifikasi rinci dari alat *excavator* mini amfibi sehingga siap untuk dikembangkan pembuatan purwarupanya pada kegiatan penelitian selanjutnya.

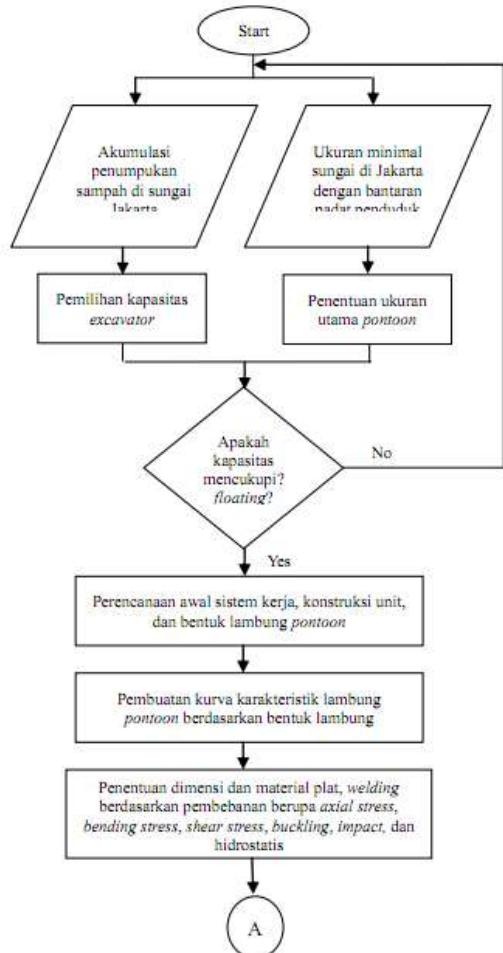
Keywords: excavator amfibi, pontoon, mooring, hambatan, propulsi

Pendahuluan

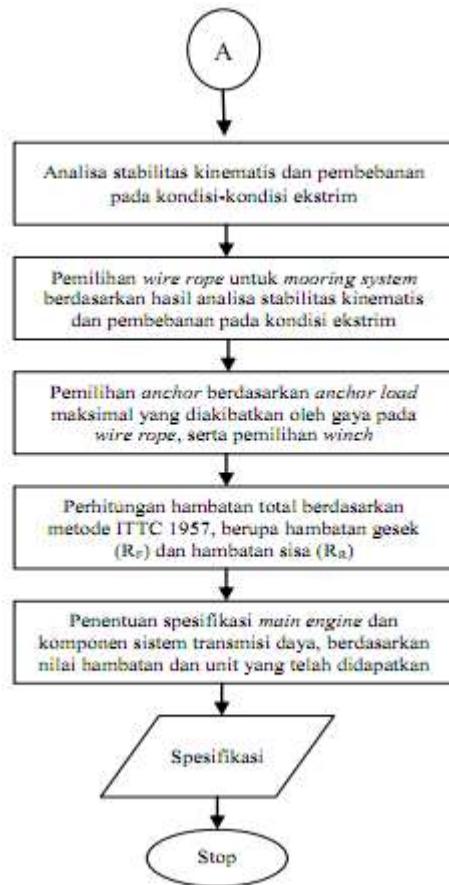
Masih terjadi penumpukan sampah di wilayah air DKI Jakarta sebesar $\pm 405 \text{ m}^3/\text{hari}$. Sampah yang tidak dapat ditangani tersebut disebabkan karena titik penumpukan berada pada pemukiman padat, seperti pada Kali Sunter, Kali Pesanggrahan, Kali Angke, Kali Ciliwung, Kali Cipinang, dan Kali Krakut, sehingga menyulitkan akses bagi peralatan berat untuk melakukan penanganan. Oleh karena itu diperlukan peralatan tambahan untuk menangani masalah penumpukan sampah di wilayah sungai dan air yang tertutup oleh pemukiman padat, yaitu berupa *excavator* mini amfibi. *Excavator* amfibi memiliki keunggulan jika dibandingkan dengan *long arm excavator* yang telah digunakan saat ini, karena memiliki daya jelajah dan mobilitas yang tinggi untuk melakukan penyusuran sungai-sungai kecil dan menangani tumpukan sampah yang selama ini menjadi permasalahan di provinsi DKI Jakarta.

Metoda

Tahapan perancangan *excavator* mini amfibi dapat digambarkan dengan *flow chart* sebagai berikut.



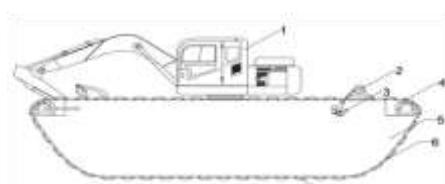
Gambar 1. Flow Chart proses perancangan



Gambar 2. Flow Chart proses perancangan (lanjutan)

General Arrangement.

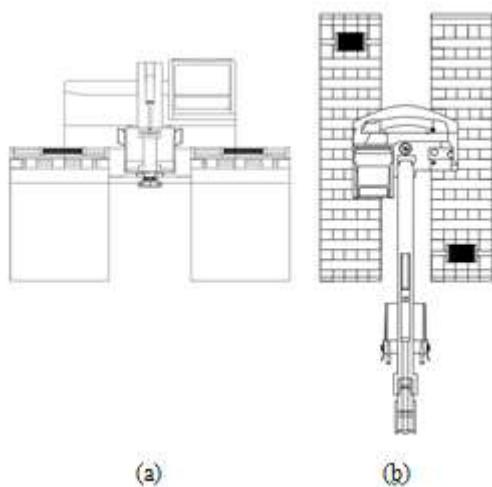
Perencanaan awal dilakukan sebagai gambaran sistem kerja secara umum untuk menentukan proses desain bagi komponen-komponen yang terdapat di dalam unit *excavator* amfibi. Kapasitas *excavator* ditentukan berdasarkan waktu siklus, volume sampah, dan jam kerja maksimal. Sedangkan gambar perencanaan awal keseluruhan unit *excavator* amfibi adalah sebagai Berikut



Gambar 3. Tampak samping

Keterangan gambar

- | | |
|-------------------|-----------------|
| 1. Excavator unit | 5. Pontoon hull |
| 2. Winch | 6. Chain |
| 3. Anchor | 7. Track plate |
| 4. Sprocket | |

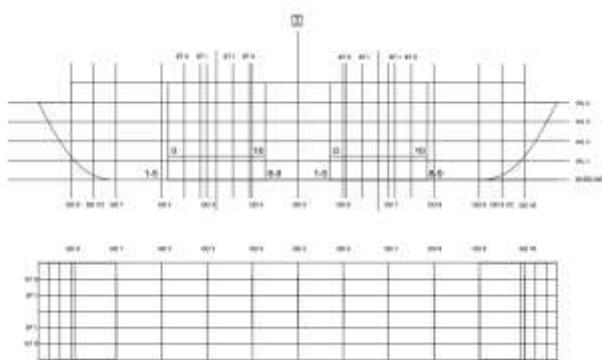


Gambar 4. (a) Tampak depan; (b) Tampak atas

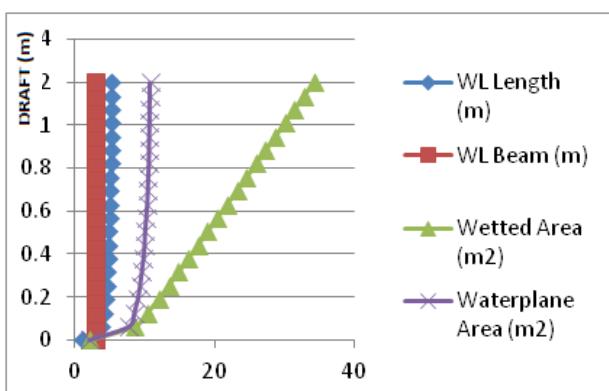
Kurva Karakteristik Lambung (*Hull*).

Kurva karakteristik lambung digambarkan berdasarkan data-data ukuran utama pontoon sebagai berikut.

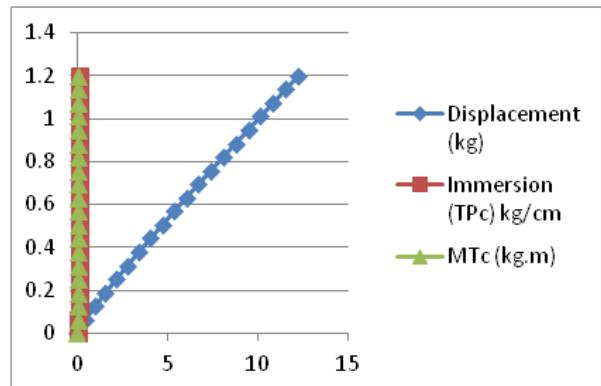
$$\begin{aligned} LOA &= 5.3 \text{ m} \\ Lpp &= 5 \text{ m} \\ Draft &= 1.2 \text{ m} \\ H &= 1.5 \text{ m} \end{aligned}$$



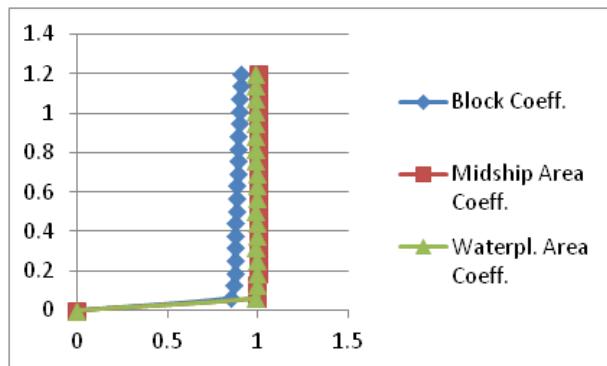
Gambar 5. Lines Plan



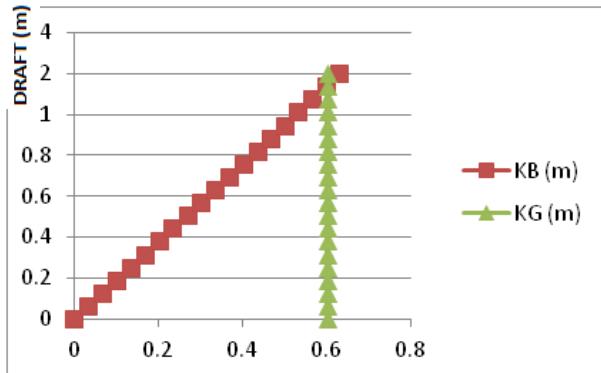
Gambar 6. Grafik Draft - (Waterline Length, Waterline Beam, Wetted Area, Waterplane Area)



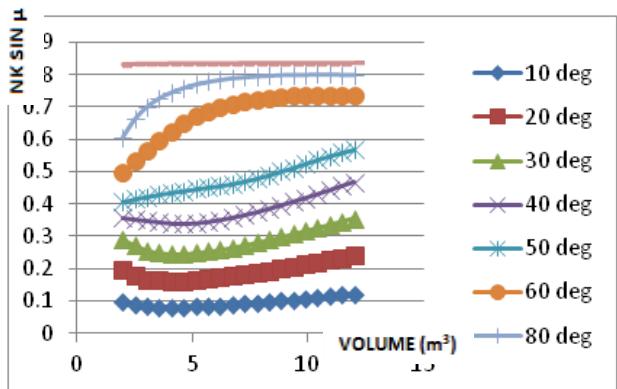
Gambar 7. Grafik Draft – (Displacement, Immersion,MTC)



Gambar 8. Grafik Draft – (LCB to Amid, KB, KG)



Gambar 9. Grafik Draft – (Cb, Cm, Cw)



Gambar 10. Cross Curve

Skema Analisa Perhitungan Numerik

Safety factor yang digunakan pada keseluruhan proses desain ditentukan dengan menggunakan *Pugsley Equation* sebagai berikut:

$$n_s = n_{sx} \cdot n_{sy} \quad (1)$$

Penentuan Dimensi dan Material Plat.

Untuk menentukan pemilihan dimensi dan material dilakukan berdasarkan analisa pembebahan berupa *buckling*, *axial stress*, *shear stress*, *bending stress*, *impact*, dan pembebahan akibat tekanan hidrostatis. Adapun pontoon akan dibagi menjadi 5 bagian dengan jarak antar bagian sebesar 1 m. Sebagai estimasi awal, dilakukan kontrol terhadap dimensi ketebalan plat yaitu ditentukan sebesar 3 mm. Pembebahan ditentukan berdasarkan persamaan:

$$Fc = \frac{\pi^2 E A}{\left(\frac{L}{k}\right)^2} \quad (2)$$

$$\text{Axial } \sigma = \frac{F}{A} \quad (3)$$

$$\tau = \frac{3V}{2A} \quad (4)$$

$$\text{Bending } \sigma = \frac{My}{I} \quad (5)$$

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\tau^2 + \left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2} \quad (6)$$

$$\sigma_{\text{Von Misses}} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \cdot \sigma_2} \quad (7)$$

$$\sigma_{\text{material}} = \sigma_{\text{Von Misses}} \cdot SF \quad (8)$$

$$\frac{F\delta_a}{2} = \frac{Wv^2}{2g_0} + P\delta_b \quad (9)$$

$$\delta_{max} = -\frac{FL^3}{192EI} \quad (10)$$

Central Joint Fillet Welding.

Spesifikasi *fillet welding* yang digunakan ditentukan berdasarkan analisa terhadap *bending stress* dan *shear stress* dengan persamaan sebagai berikut:

$$Z = bd + \frac{d^2}{3} \quad (11)$$

$$M = \frac{WL}{4} \quad (12)$$

$$\delta_{max} = \frac{M}{Zs} \quad (13)$$

$$J = \frac{(b+d)^3}{6} \quad (14)$$

$$T = F \cdot L \quad (15)$$

$$\tau_{max} = 0.4 \cdot \delta_{max} \quad (16)$$

$$\tau_{max} = \frac{T}{J} \cdot \frac{1}{s} \quad (17)$$

$$t = s \sin \theta \quad (18)$$

Perhitungan Hambatan Total.

Hambatan total diperhitungkan pada saat unit *excavator* berada di dalam air. Parameter utama yaitu berupa kecepatan kerja dan luas bidang basah. Menurut ITTC 1957, hambatan total merupakan penjumlahan dari *frictional resistance* dan *residual resistance*, yang didapatkan dari

persamaan:

$$R_n = \frac{v \cdot L}{\mu} \quad (19)$$

$$C_F = \frac{0.075}{(\log_{10} R_n - 2)^2} \quad (20)$$

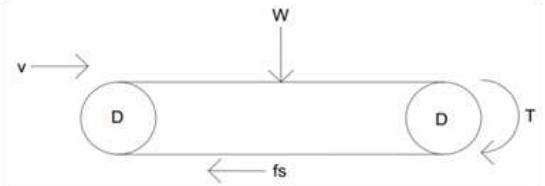
$$R_F = C_F \left(\frac{1}{2} \rho v^2 \right) S \quad (21)$$

$$R_R = C_R \left(\frac{1}{2} \rho v^2 \right) S \quad (22)$$

$$R_{Total} = R_F + R_R \quad (23)$$

Pemilihan Daya Main Engine

Daya *main engine* dihitung berdasarkan kondisi pembebahan di darat, dengan pemodelan *crawler* sebagai berikut.



Gambar 11. Pemodelan Crawler

Daya *main engine* ditentukan melalui persamaan berikut:

$$fs = \mu \cdot F \quad (24)$$

$$T = \frac{F}{3} \cdot r_{sprocket} \quad (25)$$

$$\omega = \frac{V}{r} \quad (26)$$

$$P = \omega \cdot T \quad (27)$$

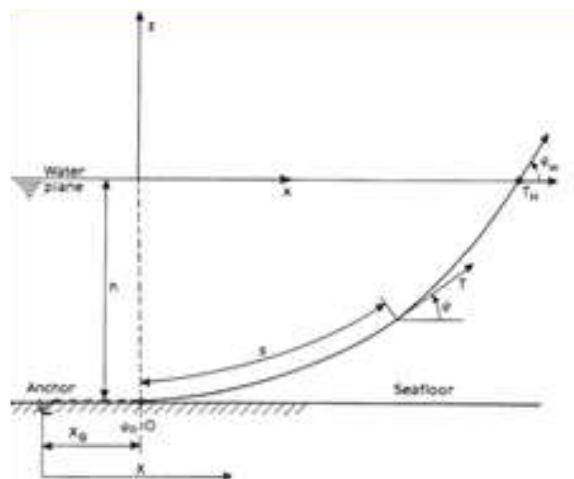
Pemilihan Anchor.

Pemilihan *anchor* didasarkan pada gaya maksimal yang dialami unit *excavator* saat bekerja. *Anchor* berfungsi sebagai *counter weight* dalam menjaga stabilitas. Analisa perhitungan dilakukan dengan menggunakan persamaan *Catenary*:

$$Friction = fc \cdot w \cdot xb \quad (28)$$

$$Load_{max} = T_{max} - (w \cdot h) - Friction \quad (29)$$

$$Load_{anchor} = Load_{max} \cdot SF \quad (30)$$



Gambar 12. Skema Mooring

Hasil dan Pembahasan

Safety factor yang digunakan pada keseluruhan proses desain ditentukan dengan menggunakan *Pugsley Equation* sebagai berikut.:

| Characteristic ^a | C = | B = | | | |
|-----------------------------|---|------|------|------|------|
| | | vg | g | f | p |
| $A = vg$ | $C = \begin{cases} vg \\ g \\ f \\ p \end{cases}$ | 1.1 | 1.3 | 1.5 | 1.7 |
| | | 1.2 | 1.45 | 1.7 | 1.95 |
| | | 1.3 | 1.6 | 1.9 | 2.2 |
| | | 1.4 | 1.75 | 2.1 | 2.45 |
| $A = g$ | $C = \begin{cases} vg \\ g \\ f \\ p \end{cases}$ | 1.3 | 1.55 | 1.8 | 2.05 |
| | | 1.45 | 1.75 | 2.05 | 2.35 |
| | | 1.6 | 1.95 | 2.3 | 2.65 |
| | | 1.75 | 2.15 | 2.55 | 2.95 |
| $A = f$ | $C = \begin{cases} vg \\ g \\ f \\ p \end{cases}$ | 1.5 | 1.8 | 2.1 | 2.4 |
| | | 1.7 | 2.05 | 2.4 | 2.75 |
| | | 1.9 | 2.3 | 2.7 | 3.1 |
| | | 2.1 | 2.55 | 3.0 | 3.45 |
| $A = p$ | $C = \begin{cases} vg \\ g \\ f \\ p \end{cases}$ | 1.7 | 2.15 | 2.4 | 2.75 |
| | | 1.95 | 2.35 | 2.75 | 3.15 |
| | | 2.2 | 2.65 | 3.1 | 3.55 |
| | | 2.45 | 2.95 | 3.45 | 3.95 |

^a vg = very good, g = good, f = fair, and p = poor.
A = quality of materials, workmanship, maintenance, and inspection.
B = control over load applied to part.
C = accuracy of stress analysis, experimental data, or experience with similar parts.

| Characteristic ^a | D = | | |
|---|-----|-----|-----|
| | ns | s | vs |
| $E = \begin{cases} ns \\ s \\ vs \end{cases}$ | 1.0 | 1.2 | 1.4 |
| | 1.0 | 1.3 | 1.5 |
| | 1.2 | 1.4 | 1.6 |

^a vs = very serious, s = serious, and ns = not serious.
D = danger to personnel.
E = economic impact.

Gambar 13. Pugsley Safety Factor

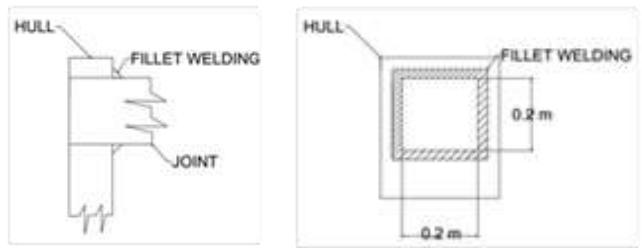
Dengan nilai,

- A = Good
- B = Good
- C = Good
- D = Not Serious
- E = Not Serious

Melalui persamaan (1) maka didapatkan *safety factor* dengan nilai 1.75.

Berdasarkan analisa pembebanan berupa *buckling*, *axial stress*, *shear stress*, *bending stress*, *impact*, dan pembebanan akibat tekanan hidrostatis pada perhitungan persamaan (2) sampai (10); maka dapat ditentukan pilihan material untuk lambung/pengapung (*floater/hull*) adalah *ASTM A36 Steel*.

Fillet welding yang digunakan ditentukan berdasarkan analisa terhadap perhitungan *bending stress* dan *shear stress* pada sambungan las dengan persamaan (11) sampai (18).



Gambar 14. Central Joint Welding

Dapat ditentukan *fillet welding* dengan spesifikasi standar *AISC J2.6 70 ksi electrodes*, dengan nilai $s = 3$ mm dan $t = 3$ mm.

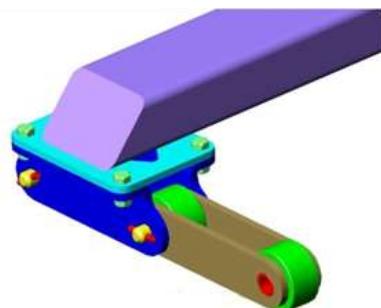
Berdasarkan nilai pembebanan maksimal, nilai kekuatan *wire rope* dapat dihitung sehingga dapat ditentukan pilihan *wire rope* yang akan digunakan. *wire rope* yang digunakan adalah yang keuatannya mampu menahan beban sebesar 5134.5 kg.

Sama halnya dengan pemilihan *wire rope*, pemilihan *anchor* didasarkan pada gaya maksimal yang dialami unit *excavator* saat bekerja. *Anchor* berfungsi pula sebagai *counter weight* dalam menjaga stabilitas. Pilihan *anchor* yang digunakan adalah dengan nilai beban maksimal diatas 2,625 ton.

Spesifikasi *winch* yang akan digunakan ditentukan berdasarkan besarnya total massa inersia *anchor* dan *wire rope*. Dengan memperhitungkan *safety factor*, maka ditentukan pilihan *winch* adalah dengan kapasitas diatas 227 kg.

Menurut ITTC 1957, hambatan total merupakan penjumlahan dari *frictional resistance* dan *residual resistance* sehingga dengan analisa perhitungan persamaan (19) sampai (23) didapatkan besarnya hambatan total adalah sebesar 55959.25 N.

Daya *main engine* yang dibutuhkan, dihitung berdasarkan kondisi pembebanannya di darat. Dengan traksi pemodelan *crawler*, maka didapatkan daya *main engine* yang dibutuhkan adalah sebesar 137,42 HP.

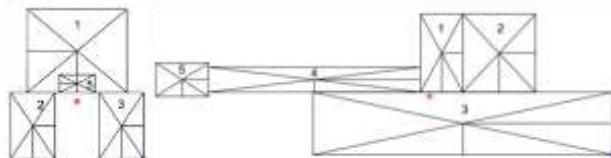


Gambar 15. Model Crawler

Analisa stabilitas pada kondisi ekstrim dilakukan dengan pemodelan *overestimate* menggunakan persegi panjang homogen. Secara keseluruhan *excavator* dibagi menjadi 5 buah persegi panjang, dimana:

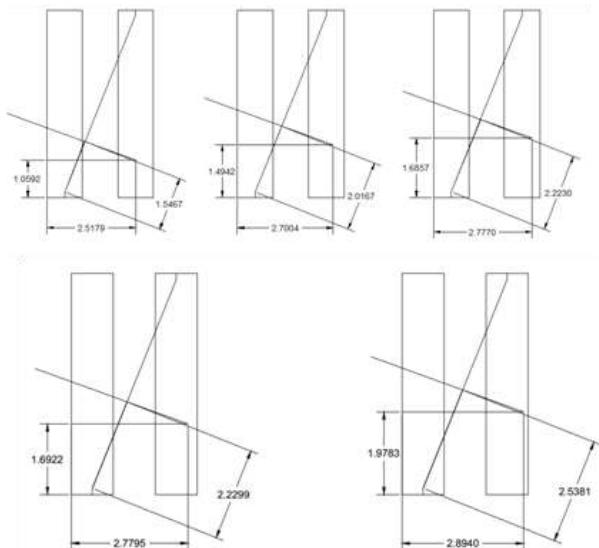
- Tampak samping
- 1 = *Operator's cabin*
- 2 = *Excavator's engine*

- 3 = Pontoon's hull
- 4 = Excavator's arm and boom
- 5 = Bucket
- Tampak depan
- 1 = Excavator unit
- 2 = Pontoon's hull 1
- 3 = Pontoon's hull 2
- 4 = Excavator's arm and boom
- 5 = Bucket

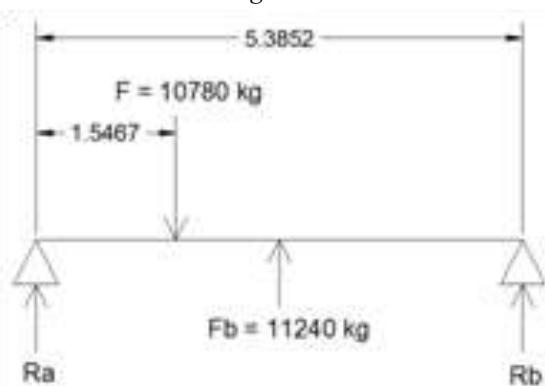


Gambar 16. Pemodelan Analisa Stabilitas Kerja

Proyeksi titik berat terhadap tumpuan (dalam hal ini berupa sistem tambat (*mooring system*) dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 17. Proyeksi Titik Berat Terhadap Mooring/tambatan

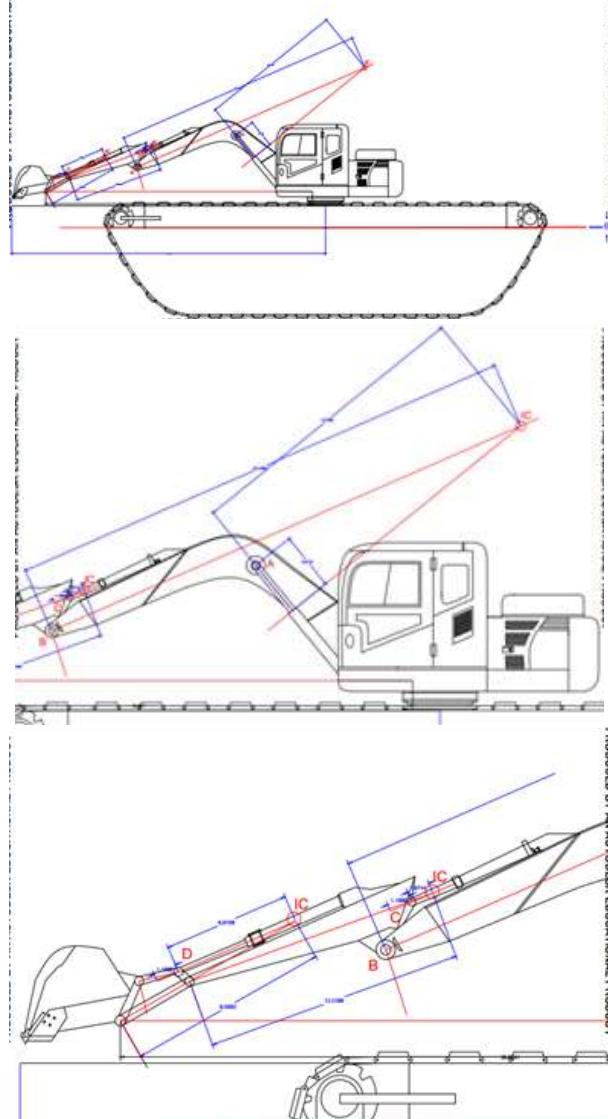


Gambar 18. Proyeksi Titik Berat terhadap Tumpuan Mooring/tambatan

Dengan syarat kondisi setimbang maka,
 $\Sigma F_y = 0$

$$\Sigma Ma = 0$$

Didapatkan nilai maksimal tumpuan Ra = 2,934 ton Selain itu, dilakukan pula analisa kinematika pada posisi ekstrim yang berpengaruh pada stabilitas. Adapun analisa kinematika dilakukan dengan kondisi tanpa penggunaan sistem tambat (*mooring system*).



Gambar 19. Analisa Kinematika untuk Stabilitas

Kesimpulan

Kesimpulan dari pengembangan rancangan ini merupakan kumpulan hasil analisa dan perhitungan rancangan menjadi spesifikasi produk unit *excavator* mini dan peralatan bantunya sebagai berikut:

Spesifikasi Pontoon

- LOA = 5,3 m
- LPP = 5 m
- H = 1,5 m
- T = 1,2 m
- v = 2,4 knot
- $\Delta = 11,24$ ton
- $C_b = 0,83$
- $C_p = 0,7$

$C_m = 0.995$
 $C_w = 0.88$

Spesifikasi Excavator

Jenis = *Compact Hydraulic Excavator*
Kapasitas = $0,39 \text{ m}^3$

Spesifikasi Plat Baja untuk Hull (lambung)

Material = *Steel*
Grade = *ASTM A36*
Tensile Strength = 400 MPa
Yield Strength = 250 MPa

Spesifikasi Fillet Welding

Kawat las = *AISC J2.6 70 ksi electrodes*
 $s = 3 \text{ mm}$
 $t = 3 \text{ mm}$

Spesifikasi Wire Rope

Diameter = 8 mm
Breaking Strength = 4690 kg
Weight = 1.06 kg/m
Jenis = *General Purpose*
Material = $6 \times 25 \text{ IWRC}$

Spesifikasi Anchor

Massa = 80 kg
Max Load = $2,9 \text{ ton}$

Spesifikasi Electric Winch

Kapasitas = 227 kg
Jenis = $500\text{A}20/\text{B}20$

Spesifikasi Main Engine

Jenis = *SAA6D107E-1*
Daya = 148 HP

Dengan adanya spesifikasi yang telah dibuat berdasarkan analisa perhitungan perancangan, kemudian dilengkapi gambar-gambar teknik kerjanya maka purwarupa alat ini dapat dibuat di manufaktur dalam negeri. Peralatan peralatan bantu yang canggih dapat dilengkapi dari pemasok.

Referensi

- $C_m = 0.995$
 $C_w = 0.88$
- [1]. Faires, V.M. . Design of Machine Elements.
4th Edition. 1970
- [2]. Allvalone, Eugene and Baumeister, Theodore.
Mark's Standard Handbook for Mechanical
Engineers. 10th Edition. 1996
- [3]. Bhavikati, S.S. and Rajashekharappa, K. G.
Engineering Mechanics. 6th Edition. 1994
- [4]. Norton, Robert L. Design of Machinery. 3rd
Edition. May 2003
- [5]. Derrett, D.R. and Barrass, C. B. Ship Stability
for Masters and Mates. 5th Edition.
- Butterworth Heinemann. 1999
- [6]. Okumoto, Yasuhisa, Takeda, Yu, Mano, Masaki,
Okada, Tetsuo. Design of Ship Hull Structures.
Springer. 2008
- [7]. Paik, Jeom Kee, Thayamballi, Anil Kumar. Ship-
Shaped Offshore Installations. Cambridge. 2007
- [8]. Eyres, DJ. Ship Construction. 6th Edition.
Butterworth Heinemann. 2007
- [9]. Bucciarelli, Louis L. Engineering Mechanics for
Structures. 2009
- [10]. Garza-Rios, Bernitsas, Nishimoto, K. Catenary
Mooring Lines with Nonlinear Drag and
Touchdown. January, 1997
- [11]. IALA Guideline No. 1066 on The Design of
Floating Aid to Navigation Moorings. 1.1 Edition.
June, 2010.
- [12]. Talahatu, Marcus A. Teori Merancang Kapal I.
1985
- [13]. Shigley's Mechanical Engineering Design. 8th
Edition. McGraw-Hill. 2006
- [14]. Rochmanhadi dan Sosrodarsono, Suyono. Alat-
Alat Berat dan Penggunaannya. Departemen
Pekerjaan Umum. Badan Penerbit Pekerjaan Umum.
1982
- [15]. Huzij, Robert, Spano, Angelo, and Bennet, Sean.
Heavy Equipment Systems. NATEF. 2008
- [16]. Donghyun, Seok. Construction Engineering
(Heavy Equipment). Dong Jin. 2011
- [17]. R, Graeme Quick. The Compact Tractor Bible.
Country Workshop. 2006